



ÍNDICES DE VEGETAÇÃO EM SERINGAIS, OUTRAS CULTURAS ARBÓREAS E REMANESCENTES FLORESTAIS NO NOROESTE DO ESTADO DE SÃO PAULO

Camila Fernanda **Ignácio**¹; Cristina Aparecida Gonçalves **Rodrigues**²; Edlene Aparecida Monteiro **Garçon**³; André Luiz dos Santos **Furtado**⁴; Sérgio Gomes **Tôsto**⁵

Nº 15509

RESUMO – Os dados espectrais oriundos de imagens de satélite são úteis para estimar parâmetros da vegetação. O uso dos índices de vegetação para estudos da cobertura vegetal e estimativa de biomassa é comum, principalmente para a vegetação arbórea. Assim, o objetivo deste trabalho foi obter e avaliar o potencial dos índices de vegetação dos remanescentes florestais e das culturas arbóreas permanentes da região das sub-bacias de Ribeirão Santa Bárbara, Córrego da Arribada, Ribeirão São Jerônimo e Ribeirão da Corredeira, no noroeste do Estado de São Paulo (região com domínio de *Hevea brasiliensis* entre as culturas arbóreas permanentes). Os resultados apontaram que não houve diferenças ($p < 0,01$) no comportamento dos índices de vegetação NDVI, SAVI e EVI entre os remanescentes florestais e os seringais. Os eucaliptais apresentaram diferenças significativas ($p < 0,01$) nos valores médios dos três índices de vegetação avaliados em comparação aos índices de vegetação dos remanescentes florestais e da cultura de seringueiras, resultado promissor como indicador potencial para classificar as classes de uso e cobertura de terras de vegetação arbórea. Os mangueirais apresentaram valores médios de NDVI estatisticamente similares aos dos eucaliptais. Os coeficientes de correlação (Pearson) entre os índices de vegetação foram todos significativos ($p < 0,05$) entre si: NDVI e SAVI = 0,64; NDVI e EVI = 0,67; SAVI e EVI = 0,99.

Palavras-chave: EVI, *Hevea brasiliensis*, NDVI, SAVI.

¹ Autora, Estagiária Embrapa: Graduação em Geografia, PUCC, Campinas-SP; camila.ignacio@colaborador.embrapa.br

² Orientadora: Pesquisadora da Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas-SP; cristina.rodrigues@embrapa.br

³ Colaboradora, Analista da Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas-SP.

⁴ Colaborador, Pesquisador da Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas-SP.

⁵ Colaborador, Pesquisador da Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas-SP.



ABSTRACT – Spectral data obtained from satellite images are useful for estimating vegetation parameters. The use of vegetation indexes to study land cover and estimate biomass is common, especially for trees. Thus, in this study we aimed to obtain and evaluate the potential use of vegetation indexes on forest remnants and permanent tree crops at the northwest region of the state of São Paulo, where the sub-basins of the Ribeirão Santa Bárbara, Córrego da Arribada, Ribeirão São Jerônimo and Ribeirão da Corredeira rivers are located, and where *Hevea brasiliensis* is predominant among the permanent tree crops. The results showed no differences ($p < 0.01$) in the NDVI, SAVI and EVI indexes behavior among forest remnants and rubber tree crops. Eucalyptus crops showed significant differences ($p < 0.01$) among the average values of all three indexes when compared to the indexes of forest remnants and rubber tree crops, which is a promising result of their use as potential indicators to classify land-use and land-cover classes in areas covered by trees. Mango crops showed average NDVI values which are statistically similar to those of Eucalyptus crops. The correlation coefficients (Pearson) among the vegetation indexes were all significant ($p < 0.05$): NDVI and SAVI = 0.64; NDVI and EVI = 0.67; SAVI and EVI = 0.99.

Key-words: EVI, *Hevea brasiliensis*, NDVI, SAVI.

1 INTRODUÇÃO

Os índices de vegetação têm sido utilizados para ressaltar o comportamento espectral da vegetação em relação a outros alvos da superfície terrestre. Esses índices fornecem informações sobre parâmetros biofísicos da vegetação, por exemplo o estado fenológico, a biomassa ou a distribuição espacial, e, portanto, são úteis no monitoramento da cobertura vegetal (LI; FOX, 2011; YANG et al., 2015). Quanto maior for a densidade da cobertura vegetal, menor será a reflectância na região do visível, e maior será a reflectância na região do infravermelho próximo (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007).

Este estudo teve como objetivo obter e caracterizar o comportamento espectral dos remanescentes florestais (majoritariamente remanescentes de floresta estacional semidecidual) e culturas arbóreas permanentes (seringais em produção, eucaliptais e mangueirais) na região noroeste do Estado de São Paulo, a partir do cálculo dos índices de vegetação (IVs) índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI), índice de vegetação ajustado ao solo (SAVI) e índice de vegetação aprimorada (EVI), e dará início a uma série de avaliações de índices de vegetação de classes de uso e cobertura das terras de vegetação arbórea visando avaliar o potencial dos IVs para discriminar padrões de classificação e outros parâmetros possíveis.



O Estado de São Paulo é atualmente o maior produtor de borracha natural do Brasil (IBGE, 2015), e o noroeste paulista reúne a maior área plantada com a cultura da seringueira (*Hevea brasiliensis* Wild. ex (Adr. Juss) Mull. Arg.) (40% do total de área colhida em 2013) e o maior número de usinas de beneficiamento de borracha natural, produzida a partir do látex extraído dessa espécie arbórea. Apesar de a heveicultura estar em crise temporária, em decorrência da queda do preço da borracha natural por problemas econômicos nos países consumidores e no Brasil, há uma tendência de recuperação do setor em decorrência do déficit interno do produto e de possíveis medidas econômicas de incentivo (OLIVEIRA et al., 2015). Além disso, o país é um dos poucos que apresenta áreas potenciais para a expansão da heveicultura.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo está inserida na Unidade de Gerenciamento dos Recursos Hídricos 19 (UGRHI 19, que corresponde à sub-bacia do Baixo Tietê), localizada entre os meridianos 20°41' a 21°13'S e 50°13' a 49°38'O (Figura 1). Apresenta área total de aproximadamente 184 mil hectares e adentra de forma total ou parcial 12 municípios: Buritama, José Bonifácio, Macauba, Monções, Monte Aprazível, Neves Paulista, Nhandeara, Nipoã, Planalto, Turiúba, União Paulista e Zacarias. Os municípios de Monte Aprazível, Neves Paulista e Nhandeara têm território na UGRHI 19, mas têm sede na UGRHI 18. A área abrange, ainda, total ou parcialmente, as sub-bacias de Ribeirão Palmeiras, Ribeirão Santa Bárbara, Córrego da Arribada, Ribeirão São Jerônimo, Ribeirão das Oficinas e Ribeirão da Corredeira (CBH-BT, 1999).

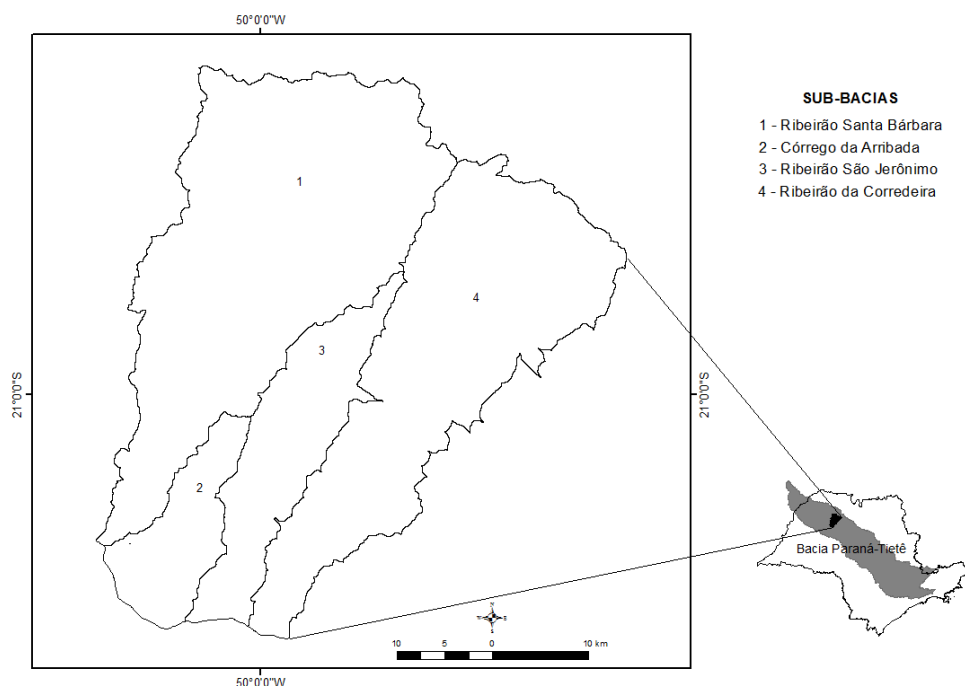


Figura 1. Localização da área de estudo no noroeste de São Paulo, na bacia dos rios Paraná-Tietê.



9º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2015
10 a 12 de agosto de 2015 – Campinas, São Paulo

A região caracteriza-se por clima tropical com inverno e verão bem definidos. A precipitação pluviométrica média anual varia de 1.100 a 1.300 mm, e as temperaturas médias anuais, de 24 °C a 30 °C (CBH-BT, 1999), com valores menores nas áreas mais elevadas.

Para obtenção dos IVs das principais culturas arbóreas permanentes da área de estudo (seringais em produção, eucaliptais e mangueirais) e dos remanescentes florestais foi feito o mapeamento por interpretação visual de imagens de satélite (GeoEye e Ikonos) de 0,4 m e 0,5 m de resolução espacial, datadas de outubro e novembro de 2013, respectivamente.

Foram feitas duas avaliações de campo, que permitiram estabelecer os alvos georreferenciados. Para o estudo dos índices de vegetação, foi utilizada uma imagem Landsat 8, sensor OLI (*Operational Land Imager*), órbita 222/ponto 74, de 02 de abril de 2014 (fim de período chuvoso, sem nuvens). A imagem foi adquirida junto ao Serviço Geológico do Governo dos Estados Unidos (USGS, 2015). A correção atmosférica dessa imagem foi realizada pelo Sistema de Calibração e Correção Atmosférica Multissensor, SCCAM (EMBRAPA, 2015).

Para a espacialização das classes de uso e o processamento das imagens de satélite foram utilizados os softwares Envi 5.2 e Esri ArcMap 10.3. As análises estatísticas foram feitas usando o programa Origin 9.1 somente para os IVs obtidos das classes estabelecidas de vegetação arbórea.

Foram obtidos três índices de vegetação de toda a área de estudo: o NDVI, que é o mais utilizado em estudos de avaliação de desenvolvimento, caracterização e monitoramento da vegetação (Equação 1); o SAVI, que apresenta um fator L para minimizar os efeitos da reflectância dos solos no cálculo do índice de vegetação (Equação 2); e o EVI, que aperfeiçoa a resposta da vegetação pela redução das influências atmosféricas e por meio da diminuição da influência do sinal proveniente do substrato abaixo do dossel (HENTZ et al. 2014) (Equação 3).

$$\text{NDVI} = (\rho\text{NIR} - \rho\text{Red}) / (\rho\text{NIR} + \rho\text{Red}) \quad (1)$$

$$\text{SAVI} = [(\rho\text{NIR} - \rho\text{Red}) / (\rho\text{NIR} + \rho\text{Red} + L)] * (1+L) \quad (2)$$

$$\text{EVI} = G * (\rho\text{NIR} - \rho\text{Red}) / (\rho\text{NIR} + C1*\rho\text{NIR} - C2*\rho\text{Blue} + L) \quad (3)$$

Nas Equações 1, 2 e 3, ρNIR é a reflectância na banda do infravermelho próximo, ρRed é a reflectância na banda do vermelho. Nas Equações 2 e 3, L é o fator de ajuste para os solos, e o fator L de 1,0 é usado para densidade vegetal muito baixa, o fator L de 0,5 é usado para cobertura vegetal intermediária e o fator L de 0,25, para altas densidades de vegetação. Neste trabalho, foi adotado o fator L de 0,5, pois no local de estudo há diferentes densidades da vegetação arbórea em razão dos diferentes tipos de classes de uso, como os mangueirais, que são menos densos



9º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2015
10 a 12 de agosto de 2015 – Campinas, São Paulo

que os seringais, e cujos espaçamentos padrão são de 8 m x 5 m e 3 m x 21 m, respectivamente. Na Equação 3, ρ_{Blue} é a reflectância na banda do azul; G é fator de ganho ajustado em 2,5; C1 e C2 são coeficientes para correção da banda vermelha em função do espalhamento atmosférico por aerossóis por meio da banda azul, com valores de 6,0 e 7,5, respectivamente (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007). O número de pixels amostrados aleatoriamente nas imagens obtidas para cada um dos três IVs em cada uma das quatro classes de uso e cobertura avaliadas no estudo foi de 100 num total de 1.200 pixels avaliados.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios dos IVs para as classes estabelecidas de vegetação arbórea (remanescentes florestais, seringueiras, eucaliptais e mangueirais) na área de estudo são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Índices de vegetação para as classes estabelecidas de vegetação arbórea na área de estudo (médias dos valores amostrados em cada cultura)¹.

	Remanescentes florestais	Cultura de seringueiras	Cultura de eucaliptos	Cultura de manga
NDVI				
Valor médio	0,90047a	0,90692a	0,81119b	0,8459b
Valor máximo	0,91302	0,91772	0,85130	0,86830
Valor mínimo	0,08999	0,72050	0,08574	0,60309
Desvio padrão	0,08482	0,04693	0,12590	0,06238
CV %	9,4	5,2	15,5	7,4
SAVI				
Valor médio	0,50978a	0,51059a	0,43566b	0,52091a
Valor máximo	0,51107	0,52296	0,44781	0,52454
Valor mínimo	0,43408	0,33942	0,16164	0,31953
Desvio padrão	0,03431	0,05714	0,07413	0,08001
CV %	6,7	11,2	17,0	15,4
EVI				
Valor médio	0,51136a	0,5138a	0,45191b	0,51919a
Valor máximo	0,51102	0,52581	0,46587	0,52603
Valor mínimo	0,44704	0,36318	0,18663	0,34650
Desvio padrão	0,02822	0,04884	0,06853	0,06139
CV %	5,5	9,5	15,2	11,8

¹ Médias seguidas de mesma letra na linha não apresentaram diferença significativa (Tukey < 0,01).

Na Figura 2, são apresentados os mapas da imagem processada referente aos cálculos dos índices de vegetação NDVI (A), SAVI (B) e EVI (C) de toda a área de estudo.

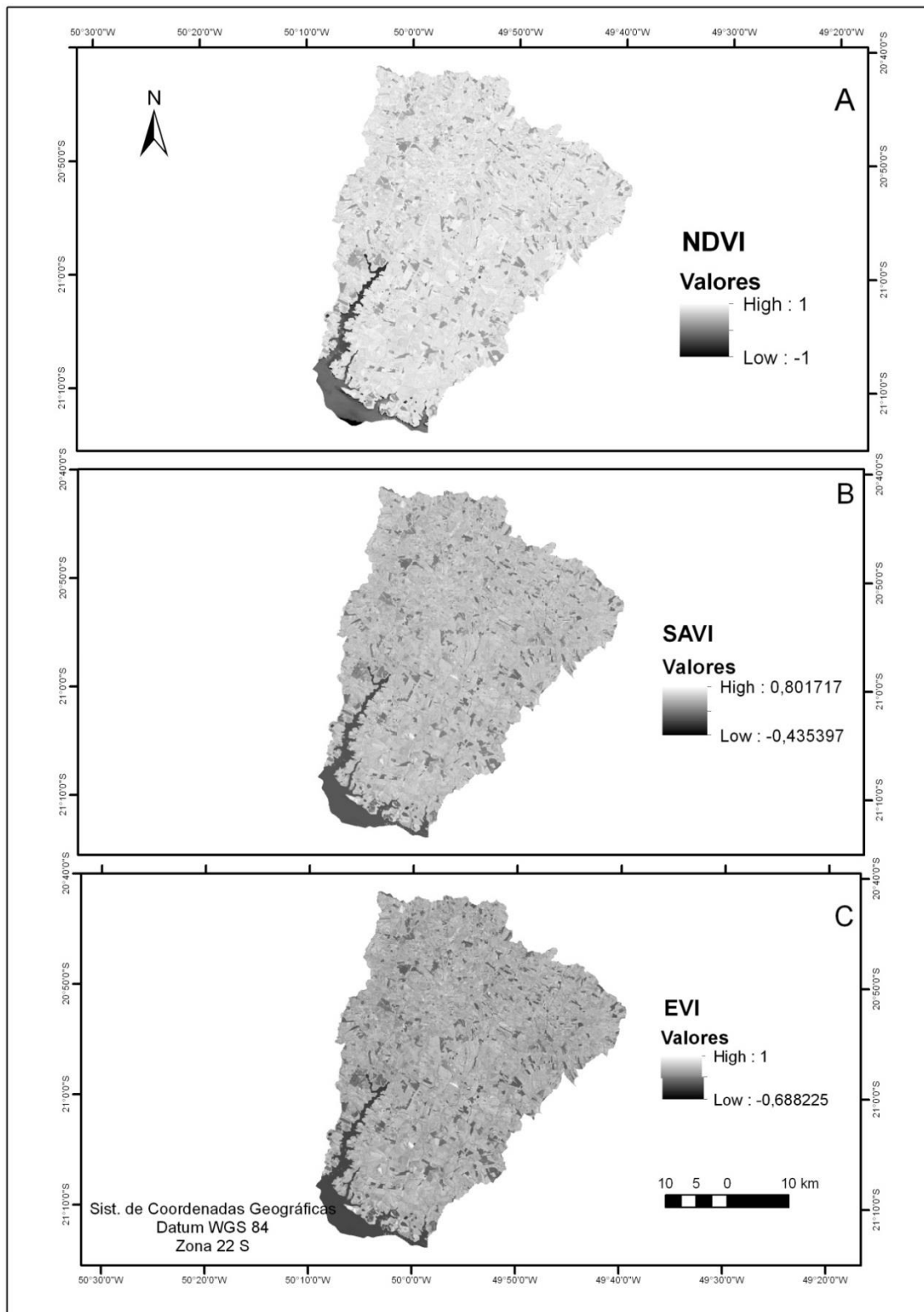


Figura 2. Índices de vegetação de toda a área de estudo: A, NDVI; B, SAVI; C, EVI.



9º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2015 10 a 12 de agosto de 2015 – Campinas, São Paulo

Os índices NDVI, SAVI e EVI apresentam maiores índices de vegetação quando os valores estão mais próximos a +1, que é a vegetação mais densa e vigorosa. Nos mapas A, B e C da Figura 2, as áreas com tonalidade de cinza mais clara mostram maiores valores de IV, enquanto a tonalidade mais escura representa baixos índices de vegetação. Os valores próximos de zero representam áreas com baixa densidade vegetacional ou sem vegetação (solo exposto), e valores negativos são geralmente corpos d'água. Assim, o brilho é maior em áreas florestadas e diminui na vegetação intermediária, e há maior absorção da radiação eletromagnética nos corpos hídricos e áreas inundáveis.

A análise da Tabela 1 mostra que os maiores valores médios de índices de vegetação correspondem ao NDVI. Valores similares foram encontrados por Couto Júnior et al. (2011) na mesma época do ano em formações florestais do Bioma Cerrado em Minas Gerais. Em condições de seca esses valores de IV seriam menores. Os valores de NDVI foram estatisticamente similares ($p < 0,01$) entre as classes remanescentes florestais e os seringais; já as culturas de eucalipto e manga apresentaram valores médios menores e diferentes estatisticamente ($p < 0,01$). Os índices de vegetação SAVI e EVI foram similares entre si entre os remanescentes florestais, os seringais e os mangueirais ($p < 0,01$). A cultura de eucaliptos apresentou os menores valores médios nos três IVs e foi significativamente diferente das demais classes em estudo ($p < 0,01$), exceto no NDVI, cujo valor médio foi semelhante ($p < 0,01$) ao valor da cultura de manga.

Os coeficientes de correlação (Pearson) entre os IVs foram todos significativos ($p < 0,05$) entre si: NDVI e SAVI = 0,64; NDVI e EVI = 0,67; SAVI e EVI = 0,99. Oliveira et al. (2007) analisaram, por meio de gráficos de dispersão e coeficientes de Pearson, nove índices de vegetação, sendo quatro índices de razão e cinco índices que utilizam a linha do solo (entre eles o NDVI e SAVI), e demonstraram que os índices de vegetação são fortemente correlacionados, implicando até em redundância de informação.

4 CONCLUSÕES

Não houve diferenças no comportamento dos índices de vegetação NDVI, SAVI e EVI entre os remanescentes florestais e os seringais. Os eucaliptais adultos apresentaram diferenças significativas ($p < 0,01$) nos três IVs entre os remanescentes florestais e a cultura de seringueiras. Esse resultado mostrou-se promissor como indicador potencial para mais um classificador de classes de uso e cobertura das terras com vegetação arbórea.



9º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2015 10 a 12 de agosto de 2015 – Campinas, São Paulo

5 AGRADECIMENTOS

À Embrapa, pela concessão de bolsa de estágio à primeira autora (Projeto GeoHevea, código 02.08.10.003.00.02); ao pesquisador Carlos Fernando Quartaroli, da Embrapa Monitoramento por Satélite.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CBH-BT. **Comitês de Bacias Hidrográficas – Baixo Tietê**. 1999. Disponível em: <<http://www.sigrh.sp.gov.br/cbhbt/apresentacao>>. Acesso em: 30 jan. 2015.

COUTO JUNIOR, A. F.; CARVALHO JUNIOR, O. A. de; MARTINS, E. de S.; SANTANA, O. A.; SOUZA, de V. V.; ENCINAS, J. I. Tratamento de ruídos e caracterização de fisionomias do Cerrado utilizando séries temporais do sensor Modis. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 35, n. 3, Edição especial, p. 699-705, 2011.

EMBRAPA. **SCCAM**: Sistema de Calibração e Correção Atmosférica Multissensor (SCCAM). [2015]. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/monitoramento-por-satelite/sccam>>. Acesso em: 06 jun. 2015. Projeto coordenado pela Embrapa Monitoramento por Satélite.

HENTZ, A. M. K.; RUZA, M. S.; CORTE, A. P. D.; SANQUETTA, C. R. Técnicas de sensoriamento remoto para estimativa de biomassa em ambientes florestais. **Enciclopédia Biosfera**, v. 10, n. 18, 2014. Disponível em: <<http://www.conhecer.org.br/enciclop/2014a/AGRARIAS/tecnicas.pdf>>. Acesso em: 05 jun. 2015.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/>>. Acesso em: 30 abr. 2015.

LI, Z.; FOX, J. M. Rubber Tree Distribution Mapping in Northeast Thailand. **International Journal of Geosciences**, v. 2, n. 4, p. 573-584, 2011.

OLIVEIRA, L. G. L.; PEREIRA, L. M.; PEREIRA, G.; MORAES, E. C.; MAEDA, E. E. Estudo da variabilidade de índices de vegetação através de imagens ETM+/LANDSAT 7. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 5995-6002. Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.18.02.36/doc/5995-6002.pdf>>. Acesso em: 10 jun. 2015.

OLIVEIRA, M. D. M.; VEIGA FILHO, A. de A.; FREDO, C. E. Custos de manutenção e rentabilidade da seringueira em plena produção, região noroeste do Estado de São Paulo, 2014. Análises e Indicadores do Agronegócio. **Instituto de Economia Agrícola**, v. 10, n. 2, fev. 2015. Disponível em: <<http://www.iea.sp.gov.br>>. Acesso em: 02 jun. 2015.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. 1. ed. São José dos Campos: Parêntese, 2007. v. 1, 127 p.

USGS. **Serviço Geológico do Governo dos Estados Unidos**. Disponível em: <<http://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 04 abr. 2015.

YANG, Y. T.; GUAN, H.; SHEN, M.; LIANG, W.; JIANG, L. Changes in autumn vegetation dormancy onset date and the climate controls across temperate ecosystems in China from 1982 to 2010. **Global Change Biology**, v. 21, n. 2, p. 652-665, feb. 2015.